

# 열처리된 알루미늄 6061, 7075 합금의 온간 액압 성형 적용을 위한 온도 및 변형 속도 변화에 따른 변형 특성 연구

이혜경\* · 문영훈\* · 손성만\*\* · 이문용\*\* · 서동우\*\*\* · 이상용\*\*\*

## A study on the deformation characteristic of heat-treated 6061,7075 aluminum alloy with changes of elevated temperature and strain rate for warm hydroforming

H. K. Yi\*, Y. H. Moon\*, S. M. Sohn\*\*, M. Y. Lee\*\*, D. W. Suh\*\*\*, S. Y. Lee\*\*\*

### Abstract

The deformation behaviors of fully annealed or T6-treated 6061 and 7075 aluminum tubes are investigated at elevated temperature using uniaxial tensile test. Fully annealed 6061 and 7075 tube, and T6-treated 7075 tube do not show sharp local necking with an elongation of 50% at tensile temperature of 300°C, accordingly, it is expected that warm hydroforming process can be applied. The increase of tensile temperature does not significantly affect the total elongation of T6-treated 6061 tube.

**Key Words :** Tube Warm Hydroforming, Aluminum Alloys, High Temperature Uniaxia Tensile Test

### 1. 서론

일체형 성형 기술로서 주목 받고 있는 액압 성형기술은 공정상 재료의 높은 성형성 요구로 인해 현재까지 주로 철계 재질이 적용되어 왔다. 반면, 우수한 비강도로 현재 대표적인 경량재료로서 사용되고 있는 알루미늄은 통상적으로 상온에서 낮은 성형성을 보여 액압 성형된 알루미늄 부품의 제조는 일반적으로 제한 받아 왔다. 이러한 상온에서의 낮은 성형성 문제를 보완하여 고강도 알루미늄 튜브에 대한 액압 성형 적용 가능성을 높이는 방법으로서 온간 액압 성형 공정이 대두되고 있다. 성형 온도 상승에 따른 기계적 특성

저하는 사전에 완전 풀림 처리 혹은 T6 열처리를 통해 보완하면서 온도 상승에 따라 알루미늄 튜브의 성형성은 증가하여 액압 성형이 적용이 가능 할 것으로 기대된다. 본 연구에서는 이러한 고강도 알루미늄 합금의 온간 액압 성형 적용 가능성을 시험하기 위한 기초 연구로서 6061, 7075 고강도 알루미늄 튜브의 열처리 조건, 온도 및 변형 속도 변화에 따른 합금의 변형 특성에 대해 연구하였다.

### 2. 실험 방법

직경 50.8mm, 두께 5mm의 6061 및 7075 seamless

\* 부산대학교  
\*\* 성우하이텍 (주)  
\*\*\* 한국기계연구원 공정연구부

튜브를 완전 풀림 처리하고, 6061 알루미늄 튜브는 530℃에서 2 시간 용체화 처리한 후 177℃에서 8 시간 동안 시효 처리하였고 7075 알루미늄 튜브는 470℃에서 2 시간 그리고 120℃에서 24 시간 동안 각각 용체화 및 시효처리 하였다. 일축 인장 시험을 위한 인장 시편 가공은 ASTM E8M 규격을 따랐으며 사용된 일축 인장 시험기는 승온에 따른 변형 특성 평가를 위해 외부 가열 챔버를 부착하였다. 승온 속도는 0.3℃/s 이며 시편은 각각의 인장 온도에서 시편 온도 편차를 줄이기 위해 20 분간 유지되었다. 200℃, 300℃의 인장 시험 온도에서 변형 속도 변화가 각 합금의 변형 거동에 미치는 영향을 평가하기 위해 2mm/min., 20mm/min. 그리고 200mm/min.의 서로 다른 cross-head speed 아래에서 인장 시험을 실시하였다. 2mm/min., 20mm/min. 및 200mm/min 의 cross-head speed 는 대략 0.001/s, 0.01/s 그리고 0.1/s 의 초기 변형 속도에 상응한다. 시편의 미세조직 및 파단면 분석은 광학현미경 및 SEM 을 이용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 온도변화에 따른 변형거동

온도 증가에 따른 6061 및 7075 알루미늄 튜브의 인장 강도와 연신률의 변화를 그림 1 에 나타내었다. 그림에서와 같이 인장 강도는 인장 온도의 증가에 따라 점차 감소되는 전형적인 거동을 나타내었다. 100℃ 인장 온도에서의 연신율은 상온(RT)에서의 값과 유사하나 200, 300℃에서 T6 처리된 6061 알루미늄 튜브를 제외한 나머지 튜브들은 급격한 연신율 향상을 보였다. 완전 풀림 처리된 6061, 7075 튜브 및 T6 처리된 7075 튜브는 300℃에서 50% 이상의 연신율을 나타내었으며 화살표시점에서 날카로운 국부 necking 이 일어나지 않았다. 따라서 본 연구에서 관찰한 알루미늄 튜브는 T6 처리된 6061 튜브를 제외하고는 온도가 증가함에 따라 온간 액압 성형에 적합한 성형성을 갖는 것으로 생각된다. 그러나 T6 처리된 6061 튜브에서는 상온과 300℃인장 온도에서 약 15% 연신율로서 비슷한 값을 나타내 연신율이 온도 상승에 의한 영향은 거의 받지 않는 것으로 나타났다.

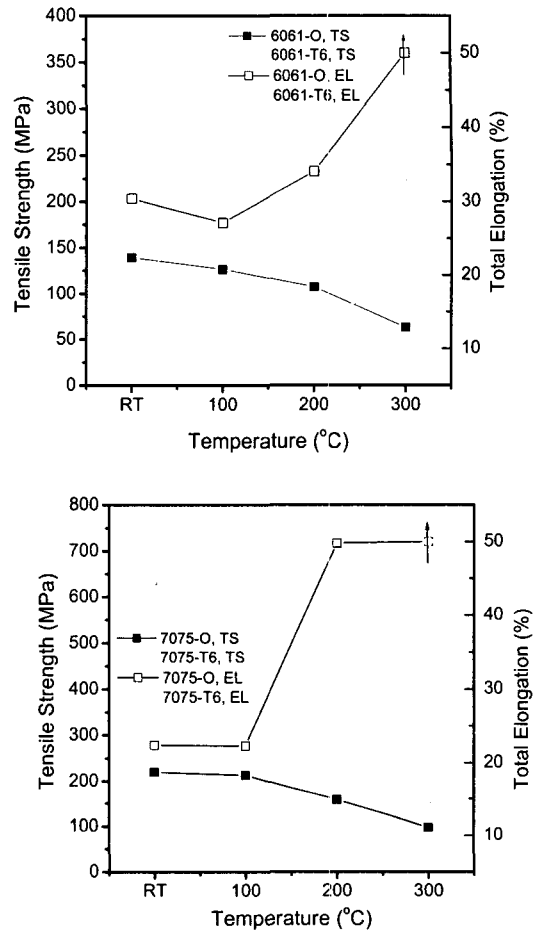


Fig. 1 Changes of tensile strength and total elongation with the increase of tensile testing temperature

200℃ 와 300℃ 의 변형온도에서 초기 변형률 속도의 변화에 따른 인장강도의 변화를 그림 2 에 나타내었다. 인장강도와 변형률 속도의 그래프는 거의 직선적인 관계를 나타내어 power law 형식의 구성방정식을 따르고 있음을 알 수 있다. 직선의 기울기로부터 평가된 변형률 속도 민감지수(m)은 약 0.05 내외로서 6061 알루미늄 튜브의 경우와 비교하여 변형온도와 전처리 상태에 따른 변화폭은 상대적으로 작았다.

초기 변형 속도에 따른 총 연신율의 변화를 그림 3에 나타내었다. 측정된 총 연신율을 통해 두 가지 형태의 변형 거동이 관찰되었다. 완전 풀림 처리된 6061과 7075 튜브, T6 처리된 7075 튜브는 변형 속도 감소에 따라 연신율이 증가하는 현상을

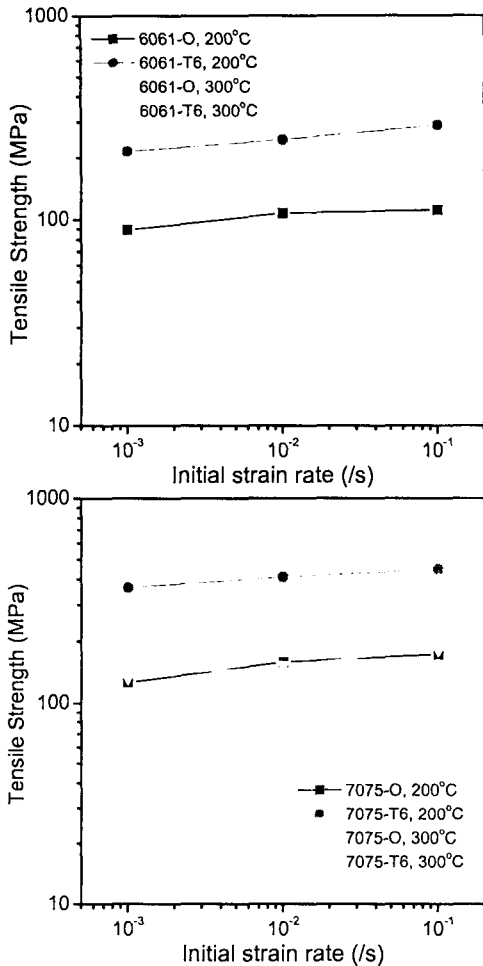


Fig. 2 Changes of tensile strength with the various strain rates

나타내었다. 그러나 T6처리된 6061튜브의 연신율은 변형 속도에 의해 영향을 받지 않으며 심지어 변형 속도의 감소에 따라 연신율이 감소하는 현상을 나타내었다.

일반적으로 연신은 변형 속도가 감소됨에 따라 급격히 증가되는 현상을 보인다[5] 따라서 완전 풀림 처리된 6061 및 7075 튜브와 T6 처리된 7075 튜브는 변형 속도가 연신율에 영향을 미치는 전형적인 거동을 보이는 것으로 나타났다. 그러나 T6처리된 6061튜브는 300°C 인장온도에서 초기 변형 속도 감소에 따라 연신율이 감소되는 현상을 나타내었다. 또한 인장 온도 300°C, 변형 속도 0.001/s에서 T6 처리된 6061튜브는 인장 시험 도중 최대 하중에 도달하자마자 날카로운

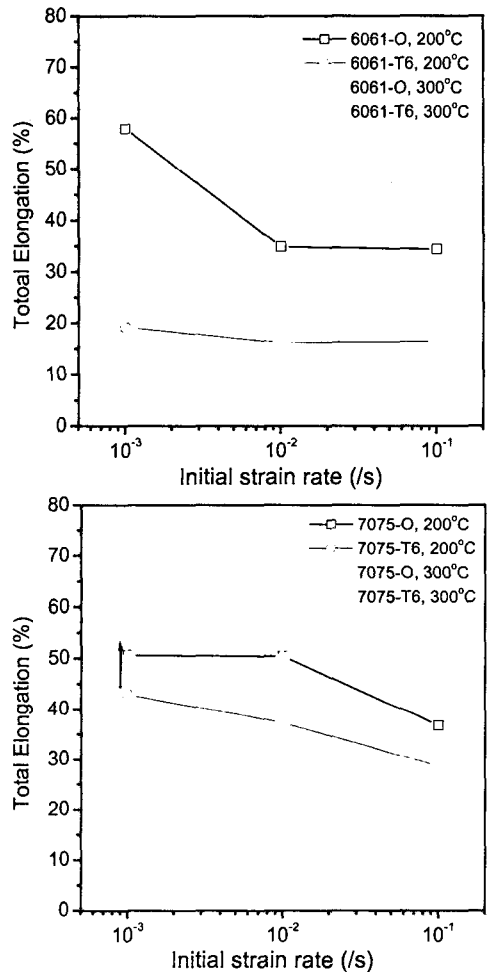


Fig. 3 Changes of total elongation with the various strain rates

극부 네킹이 관찰되었다. 결과적으로 최대 하중점 이후 연신은 급격히 감소되었고 전체 연신율은 10% 미만으로 나타났다.

### 3.2 미세조직적 세부관찰

T6 열처리된 6061 튜브의 비정상적인 변형 거동을 조사하기 위해 인장 시편 파단면의 미세조직을 관찰하였다. T6 열처리한 6061 튜브의 인장온도 300°C에서 변형률 속도를 달리한 시편의 파단면을 그림 4(a)와 (b)에 나타내었다. 두 가지 형태의 파단면이 관찰되었는데 그림 4(a)에서 보는 바와 같이 파단면의 상당 부분이 연성 파단의 전형적인 특성인 많은 덤플로 구성되어 있는 것을 알 수 있었다. 그러나 다른

파단면에서는 그림 4(b)에서와 같이 덩플이 거의 나타나지 않아 파단면 관찰을 통해서 정확한 파괴 특성을 규정하기는 어려웠다. 그러나 여기서 주목할 만한 미세 조직적 특징은 변형온도 300℃, 변형률속도 0.001/s 에서 실시한 인장시험의 파단부 근처에서는 결정립계를 따라 많은 미세 균열이 존재한다는 것이다. 그림 5(a)와 (b)에는 결정립을 따라 성장된 미세균열의 형상과 균열 표면부의 미세조직을 나타내었다. 그림 5(b)의 균열 표면부의 미세조직이 그림 4(b)의 파단면과 유사한 형상을 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서 결정립계를 따라 형성된 미세균열의 성장은 그림 4(b)의 특이 파단면과 관련이 있는 것으로 사료된다. 또한 이러한 미세균열의 형성이 총 연신율의 급격한 감소를 가져오는 것으로 판단된다.

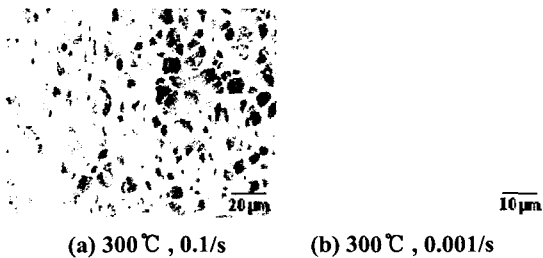


Fig. 4 Microstructures of fracture surfaces of T6-treated 6061

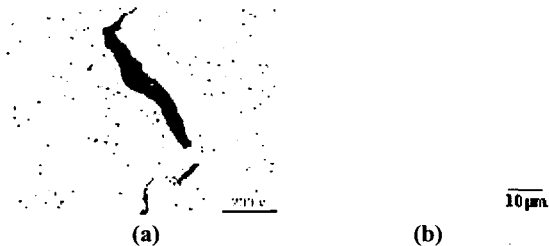


Fig. 5 Microstructures of crack surfaces of T6-treated 6061

#### 4. 결론

풀림처리와 T6 열처리된 6061 과 7075 알루미늄 튜브에 대한 온간 액압성형 적용 가능성을 평가하기 위하여 상온~300℃ 범위에서 0.001/s~0.1/s 의 변형률 속도로 일축인장시험을 하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 완전 풀림 처리된 6061 및 7075 알루미늄 튜브와 T6 처리된 7075 튜브의 전체 연신율은 인장 온도의 증가와 더불어 확연히 증가하였고 300℃의 인장 온도에서 날카로운 국부 necking은 50% 연신율을 보일 때까지 나타나지 않았다.
- (2) 반면, T6 처리된 6061 튜브의 전체 연신율은 인장 온도의 증가에 크게 영향을 받지 않았다.
- (3) T6 처리 6061 튜브의 300℃의 인장 온도와 0.001/s 의 변형 속도에서 많은 미세 크랙이 결정립계를 따라 관찰되었는데 이것은 인장시험 중에 발생하는 결정립계 강도 저하에 의해 결정립 미세균열이 형성되며 이러한 결정립계 미세균열이 균열전파의 시작점으로 작용하여 재료의 연성을 크게 악화시키기 때문으로 생각된다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Dong-Woo Suh, Sung Man Sohn, Moon Yong Lee and Sang Yong Lee, 2004, "Deformation Behaviors of 6061 and 7075 Aluminum Tubes at Elevated Temperatures for Warm Hydroforming" Materials Science Forum accepted .
- (2) S. Novotny and P. Hein, 2001, J. Mater. Proc. Tech. Vol.115, p. 65.
- (3) S. Novotny and M. Geiger, 2003, J. Mater. Proc. Tech. Vol.138, p. 594.
- (4) D.G. Seo, S.H. Chang and S.M Lee, 2003, Met. & Mater. -Int. Vol.9, p. 497.
- (5) Y.V.R.K. Prasad and S. Sasidhara, 1997, *Hot Working Guide* (ASM International).